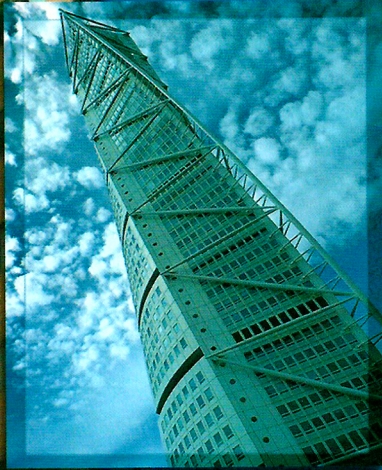


# أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

الأستاذ الدكتور

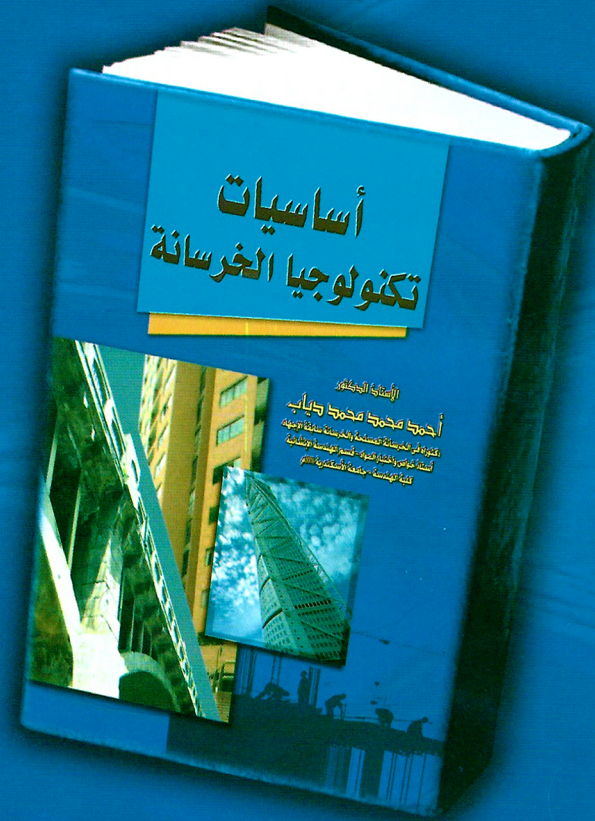
أحمد محمد دياب

دكتوراه في الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد  
أستاذ خواص واختبار المواد - قسم الهندسة الإنشائية  
كلية الهندسة - جامعة الإسكندرية



أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

أ.د. أحمد محمد دياب



SCANED BY  
ENG.OSAMA TAREK

## الباب الثامن

### إضافات الخرسانة (Admixtures for Concrete)

1-8 عام

هي مواد تضاف بكميات صغيرة ، أو كبيره للخرسانه عند خلطها ، أو تضاف للأسمنت في المصانع كجزء إحلالي من الأسمنت ، وذلك لإكساب الخرسانه خاصية معينة . وهذه المواد قد تعجل أو تؤجل شك الخرسانه ، وقد تحسن من تشغيلها أو تقلل نفاذيتها أو تكسبها مقاومة جيدة للصدا ..... إلخ .

وسنتناول فيما يلي تقسيم الإضافات والتي تشمل : الإضافات المسببه للهواء المحبوس والإضافات الكيميائية والإضافات المعدنية وخواصها وتأثيرها على الخرسانه .

#### 2-8 الإضافات المسببه للهواء المحبوس (ASTM C260) Air-Entraining Agent

وهذه الإضافات تضاف للخرسانه لإيجاد فقاعات هواء محبوس في الخرسانه ، تكون دقيقه جداً ، وتكون نظام يسمح بتقليل الإجهادات الناشئه عن دورات تكون الثلج وذوبانه ، وتتراوح نسبة الهواء المحبوس للخرسانه في المتوسط بين 4.5 ، 6.5 % ، وتصل لـ 9 % للمونه . وتصنع تلك المواد كمنتجات ثانويه by-products من بعض الصناعات الأخرى مثل صناعة الورق والبتروول وشحوم الحيوانات . ويؤثر معامل تقسيط الفقاعات الهوائية ، والذي يتراوح بين 0.18 إلى 0.30 مم على تحميلية الخرسانه واستخدام تلك المواد يحسن من تحميلية الخرسانه للصقيع ويقلل الفقد في مقاومة الخرسانه نتيجة التعرض لدورات الصقيع .

#### 3-8 الإضافات الكيميائية : Chemical Admixtures

1-3-8 عام :

وهي إضافات أساسها كيميائي تضاف للخرسانه عند الخلط كنسبه صغيره من وزن الأسمنت ( 0.20 - 3.5 % ) ، وهذه النسبه تتوقف أساساً على نوع ماده وأساسها الكيميائي ، وهذه الإضافه تكسب الخرسانه سمات معينه ، وهي تنتج غالباً على هيئة سائل وأحياناً على هيئة مسحوق ، وتوجد عدة تقسيمات للإضافات للهينات الدوليه المختلفه العامله في هذا المجال ، وسنذكر في مايلي بعض التعريفات .

#### 1-1-3-8 الجرعه : Does

وهي كمية الإضافه وفي أغلب الأحوال تضاف كنسبه وزنيه من وزن الأسمنت ، أو كإضافه بالتر للتر المكعب من الخرسانه .

#### 2-1-3-8 الأساس الكيميائي : Chemical Base

وهي ماده الكيميائيه التي يشتق منها الإضافه .

#### 2-3-8 تقسيم الإضافات الكيميائيه طبقاً لـ ASTM

Classification of Chemical Admixtures According ASTM C494

#### أ - الإضافات المقلله لماء الخلط (A).

Type (A) Water reducing admixtures

وبناء على الكود الألماني والياباني يطلق عليها Plasticizer أى المواد الملدنه .

Type (B) Retarding Admixtures

ب - الإضافات المؤجله للشك (B).

Type (C) Accelerating Admixtures

ج - الإضافات المعجله (C).

د - الإضافات المقلله للماء والمؤجله للشك (D) .

Type (D) Water reducing and Retarding Admixtures

هـ - الإضافات المقلله للماء والمعجله للشك (E)

Type (E) Water reducing and Accelerating Admixtures

و - الإضافات عاليه التخفيض للماء (F) ويطلق عليها في الكود الألماني والياباني بمواد عاليه التلدين Super Plasticizer

-Type (F) High range water reducing admixture .

ز - المواد عاليه التخفيض للماء المؤجله للشك (G) .

- Type (G) High range water reducing and retarding admixtures .

#### 1-2-3-8 الإضافات المقلله للماء : Water reducing admixtures

وهي مواد عند إضافتها للخرسانه تحسن من تشغيلها وتزيد من لدونتها .

1- الأساس الكيميائي :

تشتق تلك المواد من مواد متعدده ومنها :

أحماض اللجنو سلفو ألومينات وأملاحها Ligno Sulfonic acids and their salts

أحماض الهيدروكسيلايد كربوكسليك وأملاحها .

Hydroxylated carboxylic acids and their salts.

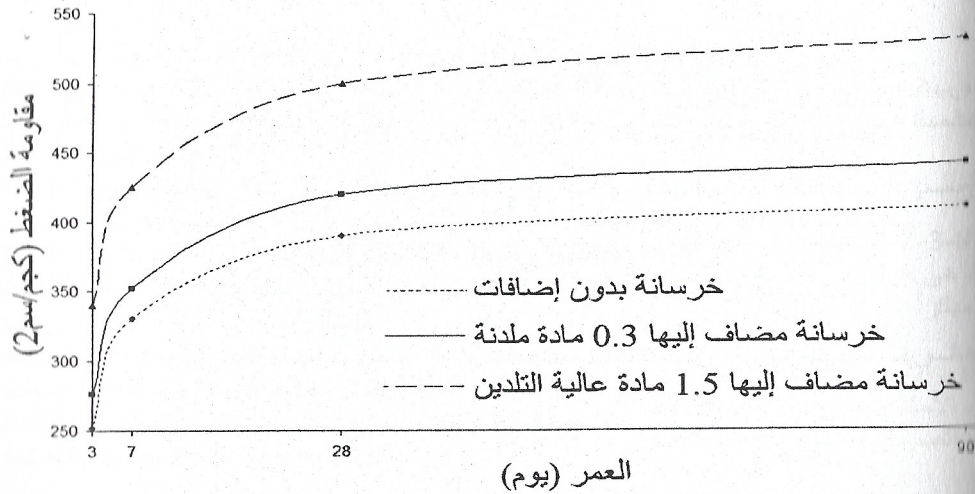
2 - طريقة العمل :

عند خلط الخرسانه ، وبها تلك الماده فإن تلك الماده يتم إمتصاصها بواسطة المواد الناعمه مثل حبيبات الأسمنت ، وتولد شحنات كهربيه سالبه على حبيبات الأسمنت ، وتتناثر حبيبات الأسمنت داخل الخرسانه ، وتصبح حبيبات الماء حره لتستخدم أغلبها في الفتره الأولى في تحسين التشغيليه انظر شكل (1-8) الذي يوضح تحسين انتشار الأسمنت نتيجة الشحنات السالبه.

3 - الجرعه (Dose):

تتميز المواد الملدنه بصغر جرعتها حيث تتراوح بين 0.2 الى 0.50 % من وزن الأسمنت ( في حدود 2 لتر / متر مكعب خرسانه) ويفضل أن تضاف الماده مع ماء الخلط أو إضافه ماء الخلط مباشرة في الخلاطه الوزنيه يليها الإضافه ، ويجب التنبيه على أن لاتستخدم جرعات إضافيه Re-dose ، والإقلن تشك الخرسانه.

عند نفس محتوى الماء يلاحظ أن إضافة المادة الملدنة تزيد من الهبوط أى تحسن التشغيلية .  
 لإنتاج خرسانه لها نفس الهبوط فإن استخدام تلك المواد يسمح بتخفيض محتوى الماء بنسبة تتراوح بين 5 ، 10 % وبالتالي تسمح بتخفيض نسبة الماء للأسمنت .  
 للخرسانه التى لها نفس الهبوط فإن الخرسانه التى بها مواد ملدنة تحقق مقاومة ضغط أعلى من المقاومة التى تحققها نفس الخرسانه بدون إضافات , انظر شكل (3-8) وهذا يعود الى ان استخدام تلك المواد يقلل نسبة W/C .



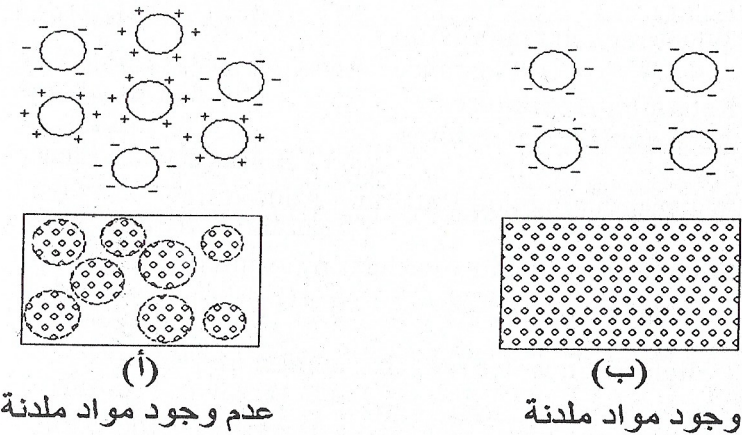
شكل (3-8) العلاقة بين العمر ومقاومة الخرسانة لنفس الهبوط للخرسانة العادية والخرسانة ذات المواد الملدنة والعالية التلدين  
 بعض الأنواع من تلك الإضافات استخدامه قد يؤجل من شك الخرسانة .  
 للخرسانه التى لها نفس الهبوط فإن استخدام تلك المواد لايؤثر تقريباً على إنكماش أو زحف الخرسانه أو قد يزيدهما قليلاً .

### 2-2-3-4 الإضافات عالية التلدين Super plasticizers

وهى مواد عند إضافتها للخرسانه تحسن التشغيليه بدرجة كبيره .

- 1 - الأساس الكيميائى :  
 نشأت تلك المواد من مواد متعددة منها :  
 - Sulfonated melamine formaldehyde condensates .  
 - Sulfonated naphthalene formaldehyde .  
 - Modified legns sulfonic polymers .  
 - Sulfonic acid esters .

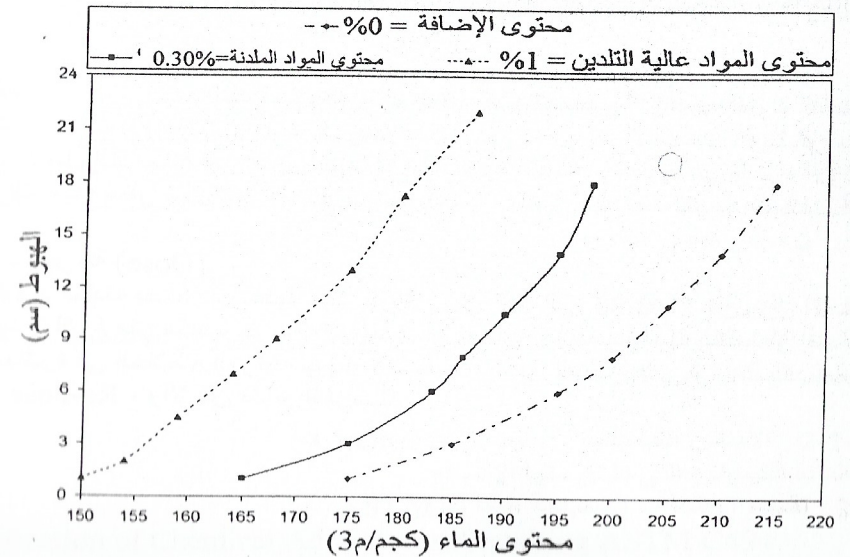
2 - طريقة العمل : Mechanism  
 تشابه طريقة العمل مع طريقة عمل المواد الملدنة ولكن الشحنات المتولده تكون أقوى لذلك فإن كفاءتها أفضل .



شكل (1-8) تأثير المواد الملدنة على الانتشار الجيد لحبيبات الأسمنت

### 4 - تأثير الإضافات الملدنة على خواص الخرسانة : Effect of Plasticizers on concrete properties:

شكل (2-8) يوضح العلاقة بين محتوى الماء فى المتر المكعب للخرسانه والهبوط للخرسانه الطازجه سواء لخرسانة بدون إضافات وخرسانه مضاف إليها مواد ملدنة أو مواد عالية التلدين.



شكل (2-8) العلاقة بين محتوى الماء والهبوط فى حالة الخرسانة العادية والخرسانة ذات المواد الملدنة والعالية التلدين

### 3 - الجرعة : Does

تعتمد الجرعة على الأساس الكيميائي ففي حالة الفورمالديهيدات أو الميالمين والنافثالين تكون الجرعات عالية حيث تبدأ من حوالي 0.8 % وقد تصل إلى 3% من وزن الأسمنت وفي حالة البولييمرات المشتقة من اللجنوسلفو ألومينات أو أحماض الأسترات فيفضل أن لا تزيد الجرعة عن 2 % وفي حالة الأسمنتات التي بها نسبة C3A منخفضه مثل الأسمنت المقاوم للكبريتات أو الأسمنت المعدل فيفضل تخفيض الجرعة القصوى عن ما يوصى به المنتج . وبالنسبة لهذا النوع من الإضافات فيمكن إضافة الجرعة على عدة مراحل خلال نقل الخرسانة (Use of Redoes) إذا كانت مسافة النقل طويلة .

### 4 - تأثير الإضافات عالية التلدين : Effect of super plasticizers

كما هو موضح بشكل (2-8) فإن إضافة المواد عالية التلدين تحسن التشغيلية بدرجة كبيرة ولذلك يمكن إنتاج خرسانه عالية التشغيلية ذات هبوط 20 سم ويمكن إنتاج خرسانه ذاتية الدمك وخرسانة قابلة للضخ .  
- عند إنتاج خرسانة لها نفس هبوط الخرسانه بدون إضافات فإن استخدام تلك المواد يسمح بتخفيض محتوى الماء بنسبة تتراوح بين 12 ، 25 % وبالتالي تقلل نسبة الماء للأسمنت .  
- إضافة المواد عالية التلدين يزيد من الهبوط وتحسن التشغيلية كثيراً .  
- حيث أن تلك المواد لزوجتها عالية فإنها تقلل احتمال حدوث النزيف أو الانفصال .  
- بعض المواد قد تزيد من زمن الشك .  
- استخدام تلك المواد يسمح بتخفيض نسبة الماء للأسمنت لذلك تتحسن مقاومة ضغط الخرسانة وخاصة في الأعمار المبكرة (انظر شكل 3-8) .  
- تخفيض نسبة الماء للأسمنت يسمح بتحسين تحميلية الخرسانه .  
- استخدام جرعات عالية يزيد من الإنكماش .

### 8-3-2-3 الإضافات المؤجله : Retarding Admixtures

وهي إضافات تضاف للخرسانه لتأجيل زمن الشك الابتدائي والنهائي .

#### 1 - الأساس الكيميائي :

توجد مواد متعددة منها .

- الجلوكوز ومشتقاته

- أحماض الهيدروكربوكسيلك وأملاحها .

- أحماض اللجنوسلفونات وأملاحها .

#### 2 - طريقة العمل :

عند إضافة تلك المواد للخرسانه فإن أغلبها يؤجل تفاعل C3S (سليكات ثلاثي الكالسيوم) الموجوده في الأسمنت مع الماء وبالتالي يزيد زمن الشك وقليل من تلك المواد تؤجل من تفاعل C3A والجبس مع الماء ومن هذا يتضح أن تلك المواد تؤجل ظهور 8-11 أو المونوسلفوألومينات . ولذلك يجب الحرص على عدم زيادة جرعات تلك المواد وإلا فإن تلك الخرسانه ويجب الحذر في استخدام تلك المواد بحيث تستخدم بجرعات صغيره في حالة استخدام أسمنت مقاوم للكبريتات أو أسمنت من النوع الثاني TYPE II طبقاً للـ ASTM .

#### 3 - الجرعة :

يفضل أن لا تزيد الجرعة عن ما يوصى به منتج الماده وغالباً ما تكون تلك الجرعة في حدود 2 لتر حتي محتوي اسمنت 400 كجم / متر مكعب .

### 4 - تأثير الإضافات المؤجله للشك : Effect of Retarding admixtures

- زيادة زمن الشك الابتدائي والنهائي بمدة ساعه على الأقل .  
- تقلل من المقاومة المبكره عند عمر يوم وثلاثة أيام وقد تقلل مقاومة السبعة أيام وعموماً يجب أن لا يزيد النقص في المقاومة عن 10 % عند مقارنتها بمقاومة الخرسانه بدون مؤجلات .  
- استخدام تلك المواد يزيد من معدل الإنكماش والزحف الأولى لكن تأثيره قليل للقيم القصوى للإنكماش والزحف .

### 5 - الاستخدام : Use

- تستخدم عند نقل الخرسانة لمسافات طويله .  
- تستخدم في الجو الحار .  
- تستخدم لصب الخرسانه في الأساسات العميقه والخوازيق وفي صب الخرسانه ذات السمك الكبير مثل اللبشه ( Raft ) .

### 8-2-3-4 الإضافات المعجله : Accelerating Admixtures

وهي مواد تضاف للخرسانة من أجل اسراع الشك والحصول على مقاومة مبكره لفك الشدات مبكراً .

#### 1 - الأساس الكيميائي :

- الأملاح الغير عضويه القابله للذوبان في الماء مثل كلوريد الكالسيوم ، الومينات الكالسيوم والصوديوم و كربونات الكالسيوم ونترات الكالسيوم .

#### 2 - طريقة العمل :

هذه المواد تعمل على تعجيل إتحد C3S مع الماء وكذلك تعجيل إتحد C3A والجبس مع الماء وبالتالي يقل زمن الشك الابتدائي والنهائي، ويجب الا يزيد هذا التعجيل عن ساعه مقارنة بالخرسانه بدون إضافات معجله .

### 3 - الاستخدام والمحاذير :

- يستخدم في الأجواء الباردة .  
- يستخدم عندما نريد فك الشدات مبكراً .  
- تستخدم في الخرسانه المقذوفه Shot creet .  
- يزيد من المقاومة المبكره ( يزيد من مقاومة الضغط عند عمر يوم واحد بحوالى 50 % ) ولكنه يقلل الأعمار المتأخره (90 يوم ) .  
- تقلل تلك المواد من مقاومة صلب التسليح للصدأ لذلك يحذر من استخدام تلك الإضافات للخرسانه سابقة الإجهاد إلا إذا كانت خاليه من الكلوريدات ويحظر استخدامها في الأجواء الرطبه .

### 5-2-3-8 كفاءة الحكم على الإضافات الكيميائية طبقاً لـ ASTM C 494-81 .

الحكم على صلاحية الإضافات يتم الحكم عليها من خلال اختبارات الأداء والاختبارات الكيميائية وسنتناول في هذا القسم اختبارات الأداء .

- يتم تنفيذ خلطتين خرسائيتين أحدهما خلطه بدون إضافات كيميائية وخلطه أخرى مضاف إليها إضافات كيميائية بحيث يكون محتوى الأسمنت ثابت في الخلطتين وكذلك الهبوط ويتم تحديد محتوى الماء الذي يحقق نفس الهبوط .

- إما أن يتم الحكم على جودة الإضافات باستخدام خلطه خرسانية تستخدم في الموقع بمحتويات معينة وبمحتوي أسمنت محدد يستخدم في الموقع وبحيث يتم الاحتفاظ بنسبة رمل لركام كبير ثابتة ويتم الحكم على الإضافات بناء على نتائج الخلطتين . أو يتم الحكم على المادة طبقاً لخلطه قياسية توصي به ASTM والتي ستذكر فيما يلي :

- يمكن استخدام الخلطه الخرسانية التي توصي بها ASTM - C494 والتي تنص على استخدام رمل قياسي يحقق التدرج التالي :

مقاس المنخل	4	16	50	100
% للمنتج	100	75 - 65	20 - 12	5 - 2

\* ويتم استخدام ركام كبير ذو نسب متساوية من المقاس الذي يمر على منخل 1" ويحجز على منخل 4/3" ، المقاس الذي يمر من 4/3" ويحجز على 2/1" ، المقاس الذي يمر من منخل 2/1" ويحجز على منخل 16/3"

\* تستخدم نسبة رمل إلى ركام كبير ثابتة .

\* يستخدم محتوى أسمنت  $307 \pm 3$  كجم/م<sup>3</sup> ويستخدم نوع الأسمنت الموجود بالموقع .

\* يتم تصميم الخلطه بحيث تحقق هبوط قدره  $63 \pm 12$  مم لخلطه المقارنه بدون إضافات وللخلطه المستخدم فيها الإضافه .

- تستخدم الإضافه بالجرعه التي يوصي بها المنتج .

- يتم خلط الخرسانه قياسياً ويتم قياس الهبوط والهواء المحبوس وزمن الشك الابتدائي والنهائي للخرسانه ثم يتم صب عينات مقاومة الضغط والانحناء ويمكن قياس الإنكماش لعينات على هيئة منشور طبقاً لـ ASTM C157 وفي حالة الخرسانه ذات الهواء المحبوس يمكن حساب معامل التحمل بطريقة ASTM C666 والذي يعرض الخرسانه لدورات سريعة من تكون الثلج وذوبانه في الماء أو للتتبع السريع في الهواء والذوبان في الماء .

- بحسب محتوى الماء المستخدم في الخلطتين ونحدد النسبه بين محتوى الماء للخلطه ذات الإضافات ومحتوى الماء لخلطه المقارنه .

- يتم الحكم على أدائية الإضافات بناء على نتائج الاختبارات وحدود الـ ASTM الموجوده في جدول رقم ( 1-8 ) .

### جدول رقم ( 1-8 ) متطلبات الأداء :

النوع G عالي التلدين مؤجل	النوع F عالي التلدين	النوع E ملدن مؤجل	النوع D ملدن مؤجل	النوع C مؤجل	النوع B مؤجل	النوع A ملدن	الحد الأقصى لمحتوى الماء النسبه لخلطه المقارنه %
88	88	95	95	—	—	95	زمن الشك الابتدائي داعية *
1.00	—	—	1.00	—	1.00	—	تأجيل حد أدنى
3.30	1.30	—	3.30	—	3.30	1.30	تأجيل حد أقصى
—	—	1.00	—	1.00	—	—	تأجيل حد أدنى
—	1.00	3.30	—	3.30	—	1.00	تأجيل حد أقصى
—	—	—	—	—	—	—	زمن الشك النهائي داعية *
3.30	1.30	—	3.30	—	3.30	1.30	تأجيل حد أدنى
—	—	1.00	—	1.00	—	—	تأجيل حد أقصى
—	1.00	—	—	—	—	1.00	تأجيل حد أقصى
125	140	—	—	—	—	—	مقاومة الضغط
125	125	125	110	125	90	110	3
115	115	110	110	110	90	110	7
110	110	110	110	100	90	110	28
100	100	100	100	90	90	100	180
100	100	100	100	90	90	100	315 يوم
110	110	110	100	110	90	100	3
100	100	100	100	100	90	100	7
100	100	100	100	90	90	100	28 يوم
135	135	135	135	135	135	135	الانحناء كحد أدنى
135	80	80	80	80	80	80	الانحناء كحد أدنى

\* زمن الشك المذكور بالساعه والدقيقه مثلاً 1.30 معناه ساعه وثلاثون دقيقه .

### 3-3-3 الإضافات المعدنية : Mineral Admixture

وهي مواد ناعمه جداً تضاف للخرسانه بمحتوى عالى نسبياً لإكساب الخرسانه ميزه معينه وهذه المواد تنقسم من جهة الخامه الى :

- غبار سليكا ، رماد طائر Fly ash ، غبار حرق قشر الأرز Husk rice ash ، خبث الأفران المنشط المطحون ، ميتاكاولين ومن جهة النشاط توجد عدة تقسيمات منها ما يلي :

### 3-3-1 تقسيم الإضافات المعدنية :

1 - تقسيم هيئة اختبار المواد الأمريكية ASTM - C618

اقسم الـ ASTM الإضافات المعدنية الى ثلاثة أنواع هي C & F & N و جدول رقم ( 2-8 ) يحتوي على خواص تلك المواد وتقسيمها بناء على محتوى السليكا والألومينا وأكسيد الحديد .

جدول (2-8) تقسيم ASTM C618 للإضافات المعدنية :

التقسيم	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> حد أدنى %	SO <sub>3</sub> حد أقصى %	محتوى الماء % حد أدنى	الفاقد بالحرق بحد أقصى %	الوصف
النوع N "Class N"	70	4	3	10	مثل المواد البوزولانية الطبيعية أو الطبيعية المكلسة
النوع F "Class F"	70	5	3	6	مثل الرماد الطائر الناتج من حرق الفحم البيتوميني وله فعل بوزولاني .
النوع C "Class C"	50	5	3	6	مثل الرماد الطائر الناتج من اللجنات أو من الفحم تحت البيتوميني وهو بجانب فعله البوزولاني له بعض الخواص الأسمنتية .

2- تقسيم مهتا Mehta .

قام مهتا بتقسيم تلك المواد الى :

1 - مواد ذات فعل أسمنتى مثل الخبث المطحون المنشط ( Ground blast furnace slag )

وهذه المادة تستخدم فى صناعة الأسمنت على الخبث .

2 - مواد ذات فعل أسمنتى بوزولانى مثل الرماد الطائر المحتوى على نسبة عالية من انكاسيوم (Type G)

3 - مواد ذات فعل بوزولانى وتنقسم بدورها الى :

أ - مواد ذات فعل بوزولانى على النشاط High active pozzolans مثل غبار السليكا (Condensed silica fume) ومثل رماد حرق قشر الأرز Rice husk ash والمعلحون لدرجة طحن عالية حيث تتكون تلك المواد من سليكا خالصة فى هيئة غير بلورية والرماد الطائر (Type F)

ب - مواد ذات فعل بوزولانى عادى مثل الرماد الطائر منخفض الكالسيوم والمواد الطبيعية مثل المواد البوزولانية الطبيعية التى تحتوى على الكوارتز والسليكا والفلسبار .

ج - المواد ذات الفعل البوزولانى الضعيف مثل الخبث المبرد ببطنى وغبار حرق قش الأرز المحروق فى الحقل ( حرق غير جيد ) .

3- التقسيم بناء على نوع المنتج .

يتم تقسيم الإضافات الى إضافات معدنية طبيعية ( مثل المواد البوزولانية البركانية ومثل الطين المكلس ) وإضافات تنتج موازيه لصناعة مادة أخرى (By - Product) مثل غبار السليكا والرماد المتطاير حيث أنها ليست المواد الأساسية الناتجة من الصناعة .

2-3-3-2 المواد المعدنية التى يمكن إنتاجها فى مصر .

جدول (3-8) يحتوى على التحليل الكيميائى لبعض المواد التى تنتج فى مصر .

1- غبار السليكا Silica Fume

وهى مادة أساسها سليكون تنتج فى مصر بجانب صناعة الألومنيوم فى إدفو وهى مادة تتميز بنعومة عالية حيث أن مساحتها السطحية 167000 مم<sup>2</sup> / جم أى حوالى 50 ضعف من المساحة السطحية للأسمنت ووزنها النوعى أقل من الوزن النوعى للأسمنت (حوالى 2,4) .

جدول رقم (3-8) مثال للتحليل الكيميائى للإضافات المعدنية .

المركب	غبار السليكا	ميثا كاولين
أكسيد السليكون	93	71
أكسيد الألومنيوم	0.2	22
أكسيد الحديد	0.5	2
أكسيد الكالسيوم	5.2	0.20
أكسيد المغنسيوم	0.50	0.15
ثالث أكسيد الكبريت	0.15	2.45
أكسيد الصوديوم	0.20	0.20
أكسيد البوتاسيوم	0.50	—
الفاقد فى الوزن	1.21	2.00

ونظراً لنعومتها الشديدة يمثل تناولها عيب رئيسى لها ولذلك دولياً إما أن تعبأ فى صورتها الطبيعية (Un compacted) وتكون تكلفة نقلها عالية ويكون نشاطها البوزولانى على أو تعبأ بعد دمكها (Pelletized / densified) وهنا تقل تكلفة النقل ولكن يقل النشاط البوزولانى ويمكن تعبئتها فى صورة محلول (Water slurry) حيث يقل التلوث ويسهل النقل ولكن يجب ضبط قلويتها (PH) حتى لا يتكون جل .

ونظراً لنعومتها العالية فإن الحبيبات تملأ أية فراغات موجودة فى الخرسانة بالإضافة لوجود الفعل البوزولانى ولذلك فإن إستخدامها بنسبة تتراوح بين 8 ، 15 % كإحلال من وزن الأسمنت تحسن من مقاومة الضغط، انظر شكل (3-8) ، كما أثبت الأبحاث أن إستخدام غبار السليكا يحسن من مقاومة الصداً ويحسن من تحمل الخرسانة لكبريتات الصوديوم ولكنه يقلل من تحمل الخرسانة لمهاجمة كبريتات المغنسيوم .

### 3 - الخبث Slag

إن خبث الحديد الذى ينتج فى مصر عند طحنه وإضافته لكنكر الأسمنت يجب ألا تزيد نسبته عن 30 % لأن هذا الخبث لا يتم تنشيطه . إما الخبث المنشط لا ينتج فى مصر وتقوم بعض شركات الأسمنت باستيراد الخبث المنشط وتضيفه لكنكر الأسمنت لإنتاج الأسمنت على الخبث ( أنظر باب الأسمنت ) .

### 4 - غبار قشر الأرز Husk rice ash

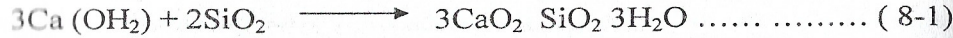
تنتشر زراعة الأرز فى مصر ومنذ الأزمنة القديمة كان يستخدم ناتج حرق قشر حبيبات الأرز كماده بناء وكان يطلق على هذا المنتج اسم القسرمل ، حيث كان يضاف للجير ليستخدم كمونه لاحمه . وأثبتت الأبحاث المجراه أنه بطحن الماده الناتجه من حرق قشر الأرز تنتج ماده بوزولانيه تستخدم كإضافه معدنيه للخرسانه ومن المهم التأكيد على التفريق بين حرق قشر الأرز وبين حرق سيقان نبات الأرز ، حيث أن حرق السيقان بعد طحنها يكون الفعل البوزولانى فيها ضعيف جداً .

### 3-3-3-8 فعل الإضافات المعدنيه .

إن الإضافات المعدنيه تحسن خواص الخرسانه من خلال أو كل الأنشطة التاليه :

#### 1 - النشاط البوزولانى Pozzolanic effect .

وهو النشاط الذى ينتج من إتحاد أكسيد السليكون الموجود فى الإضافه الكيماييه مع هيدروكسيد الكالسيوم الموجود فى الخرسانه وينتج جل إضافى يحقق مقاومة إضافيه



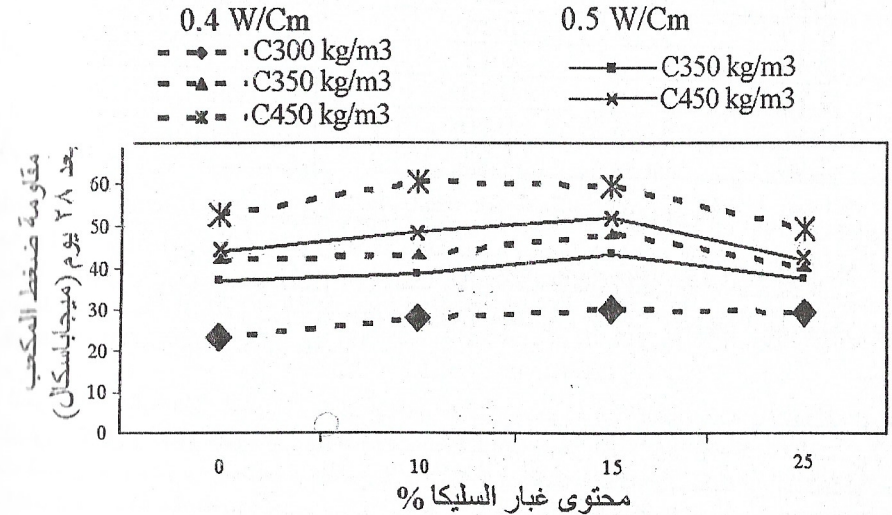
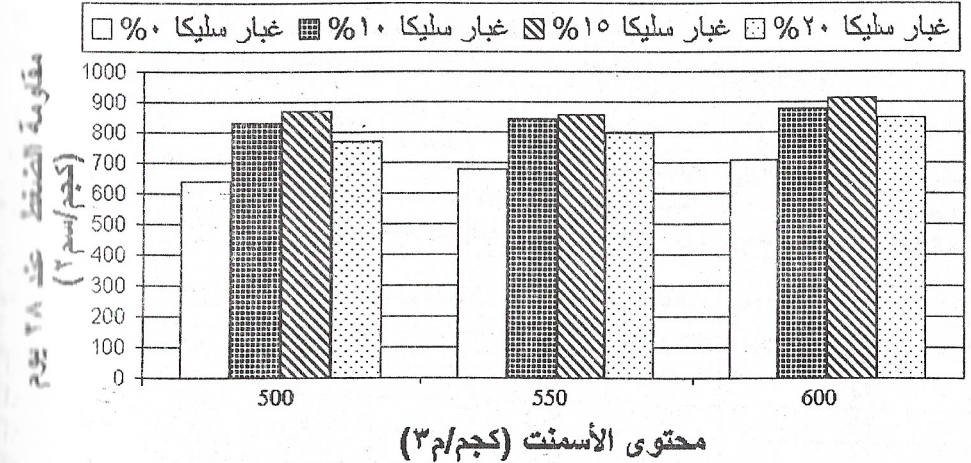
وهذا النشاط بطيئ ، ولذلك يملأ هذا الجل أية فراغات فى الخرسانه وأثبت تصوير الخرسانه بالميكروسكوب أن الفراغات الدقيقه تملأ عند إستخدام المواد البوزولانيه وبذلك فإن الفعل البوزولانى يثبت هيدروكسيد الكالسيوم وأثبتت الأبحاث أن هذا التفاعل لا يقلل قلوية الخرسانه كثيراً حيث تكون PH فى حدود 12.5 وبذلك يحسن تحمل الخرسانه عامه .

#### 2 - الفعل الأسمنى :

بعض أنواع الإضافات المعدنيه مثل الرماد الطائر ( الرماد الطائر على الكالسيوم ) تحتوى على نسب من C3A و C3S و C4A3S بالإضافة لنسبة من الجير Free Lime وهذه المواد تتحد مع الماء وتكون ماده لاحمه أسمنيه .

#### 3 - فعل الملاء Filling effect .

بعض الإضافات المعدنيه ذات النعومه العاليه مثل غبار السليكا والرماد الطائر عند إضافتها للخرسانه فإن نعومتها العاليه تجعلها تملأ جزء من الفراغات الموجوده بالخرسانه مما يجعل الخرسانه أعلى كثافيه وأفضل تحميله . ويلاحظ أن الإضافات ذات الفعل الأسمنى والبوزولانى الضعيف تساعد الخرسانه بهذا الفعل بالإضافة لإستخدامها لأغراض أخرى مثل تقليل النزيف فى الخرسانه المضخوخه أو المصبوبه تحت الماء .



شكل (4-8) تأثير غبار السليكا على مقاومة الضغط للخرسانة عند 28 يوم .

كما أن إحلال جزء من الأسمنت بغبار السليكا يقلل من إنكماش الخرسانه .

### 2 - ميتاكاولين Meta Kaolin .

وهذه الماده تنتج فى العالم ويمكن إنتاجها فى مصر من ماده الكاولين المتوفره فى سيناء ويتم إنتاجها بحرق الكاولين لدرجة حراره تتراوح بين 600 و 900 درجة مئوية ويتم طحن الماده الناتجه لتنعيمها للمساحه السطحيه المطلوبه ، وعملية الطحن هى العمليه الوحيدة التى تقف عائق فى إنتاج هذه الماده فى مصر وتتميز هذه الماده بفعلها البوزولانى وإستخدامها كجزء إحلالى من الأسمنت حتى 15 % وهى تحسن مقاومة الضغط وتحسن من مقاومة صدا صلبها التسليح .